

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 876 027**

51 Int. Cl.:

G01N 29/04 (2006.01)

G01N 29/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.03.2016** **E 16158078 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.06.2021** **EP 3070467**

54 Título: **Sistema ultrasónico de evaluación, método ultrasónico de evaluación y método de elaboración de una pieza de aeronave**

30 Prioridad:

18.03.2015 JP 2015054345

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

11.11.2021

73 Titular/es:

SUBARU CORPORATION (100.0%)
1-20-8, Ebisu, Shibuya-ku
Tokyo 150-8554, JP

72 Inventor/es:

TAKAHASHI, KOHEI

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 876 027 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema ultrasónico de evaluación, método ultrasónico de evaluación y método de elaboración de una pieza de aeronave

CAMPO

Las realizaciones descritas en el presente documento versan en general sobre un sistema ultrasónico de evaluación, un método ultrasónico de evaluación y un método para elaborar una pieza de aeronave.

ANTECEDENTES

Convencionalmente, se conoce un método de inspección ultrasónica de defectos como un método de inspección no destructiva de un miembro estructural de una aeronave o similar. Como ejemplo específico, se ha propuesto (remitirse, por ejemplo, a la publicación de solicitud de patente japonesa JP 2011-185921 A y a la publicación de solicitud de patente japonesa JP 2014-194379 A) un sistema de medición de la longitud de un desperfecto que puede medir la longitud de un desperfecto, tal como un deslaminado o un desprendimiento, en una pieza adhesiva o una pieza adherida, usando un accionador que emite ondas ultrasónicas hacia una zona que ha de ser inspeccionada y un sensor de FBG (malla reticular de Bragg en fibra óptica, por sus siglas en inglés) para recibir ondas reflejadas ultrasónicas reflejadas en la zona que ha de inspeccionarse.

Además, en el documento US 5 303 590 A, se ha propuesto un método de un aparato para la inspección ultrasónica de estructuras multicapa que tienen bandas de frecuencia de transmisión y reflexión acústicas, en donde, analizado las señales transmitidas o reflejadas con respecto a bandas de frecuencia de la estructura, se dice que se elimina la interpretación de las señales debidas a variaciones de parámetros causadas por vacíos, inclusiones o deslaminados.

El documento US-2006/201252 describe la evaluación de una pieza de aeronave, detectándose los defectos en función de una onda ultrasónica que atraviesa una zona de evaluación y de una onda ultrasónica que se refleja en un desperfecto en la zona de evaluación.

El documento US-6032534 describe la evaluación de un objeto tal como un microcomponente, detectándose los defectos en función de una onda ultrasónica que atraviesa una zona de evaluación y de una onda ultrasónica que se refleja en un desperfecto en la zona de evaluación.

El documento JP H11-211700 A describe un método de detección ultrasónica de defectos, determinándose los defectos en un objeto en función de una onda ultrasónica de 3,5 MHz transmitida a través del objeto, y determinándose la rugosidad superficial del objeto en función de una onda ultrasónica de 2,25 MHz reflejada desde una superficie del objeto.

En las evaluaciones ultrasónicas, es importante permitir la detección de desperfectos en un intervalo que haya de ser evaluado con mayor certeza.

Por ello, un objeto de la presente invención es permitir la detección no destructiva de desperfectos de una diana de evaluación con mayor certeza.

COMPENDIO DE LA INVENCION

La presente invención versa sobre un sistema ultrasónico de evaluación según la reivindicación 1, un método ultrasónico de evaluación según la reivindicación 7 y un método de elaboración de una pieza de aeronave según la reivindicación 8.

Por lo general, un sistema ultrasónico de evaluación incluye una parte de transmisión ultrasónica que incluye al menos un transductor ultrasónico, una parte de detección ultrasónica que incluye al menos un sensor y una parte de detección de desperfectos que consta de circuitos. Al menos un transductor ultrasónico transmite una primera onda ultrasónica y una segunda onda ultrasónica hacia una zona de evaluación. La primera onda ultrasónica tiene una frecuencia relativamente baja. La segunda onda ultrasónica tiene una frecuencia mayor que la frecuencia de la primera onda ultrasónica. Al menos un sensor detecta una onda reflejada de la primera onda ultrasónica y la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación. La onda reflejada proviene de la zona de evaluación. Los circuitos de detección de desperfectos están configurados para detectar un desperfecto en la zona de evaluación en función de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica y la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación.

Además, un método ultrasónico de evaluación incluye: transmitir una primera onda ultrasónica que tiene una frecuencia relativamente baja y una segunda onda ultrasónica que tiene una frecuencia mayor que la frecuencia de la primera onda ultrasónica hacia una zona de evaluación; detectar una onda reflejada proveniente de la zona de evaluación, de la primera onda ultrasónica y la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación; y detectar un desperfecto en la zona de evaluación en función de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica y la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación.

Además, un método de elaboración de una pieza de aeronave incluye: adherir un parche a una zona que incluye una parte que ha de repararse de una pieza de aeronave; transmitir una primera onda ultrasónica que tiene una frecuencia relativamente baja y una segunda onda ultrasónica que tiene una frecuencia mayor que la frecuencia de la primera onda ultrasónica hacia una zona de evaluación; obtener una onda reflejada de la primera onda ultrasónica y la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación; y elaborar una pieza reparada de aeronave reparando la parte que ha de repararse de la pieza de aeronave. La zona de evaluación es una superficie límite entre la zona que incluye la parte que ha de repararse y el parche. La onda reflejada proviene de la zona de evaluación. La onda reflejada y la segunda onda ultrasónica sirven de información para monitorizar si se ha producido un desperfecto en la zona de evaluación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

En los dibujos adjuntos:

La Figura 1 es un diagrama de bloques que muestra un sistema ultrasónico de evaluación según una realización de la presente invención;
 la Figura 2 muestra el primer ejemplo de estructura fundamental de la parte de transmisión ultrasónica y de la parte de detección ultrasónica mostradas en la Figura 1;
 la Figura 3 muestra el segundo ejemplo de estructura fundamental de la parte de transmisión ultrasónica y de la parte de detección ultrasónica mostradas en la Figura 1;
 la Figura 4 muestra el tercer ejemplo de estructura fundamental de la parte de transmisión ultrasónica y de la parte de detección ultrasónica mostradas en la Figura 1;
 las Figuras 5A y 5B muestran un ejemplo de formas de onda de ondas reflejadas de las primeras ondas ultrasónicas, cada una de las cuales tiene una baja frecuencia;
 las Figuras 6A y 6B muestran un ejemplo de formas de onda de las segundas ondas ultrasónicas, cada una de las cuales tiene una alta frecuencia;
 la Figura 7 es un diagrama de flujo que muestra un flujo ejemplar en un caso de ejecución de una prueba de detección de defectos en una zona de evaluación de una diana de evaluación mediante el sistema ultrasónico de evaluación mostrado en la Figura 1;
 la Figura 8 muestra un ejemplo de disposición de los transductores ultrasónicos y de los sensores de fibra óptica en una pieza de aeronave que es una diana de monitorización de desperfectos por parte del sistema ultrasónico de evaluación mostrado en la Figura 1; y
 la Figura 9 es una vista del lado izquierdo de la pieza de aeronave mostrada en la Figura 8.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Se describirán con referencia a los dibujos adjuntos un sistema ultrasónico de evaluación, un método ultrasónico de evaluación y un método de elaboración de una pieza de aeronave según realizaciones de la presente invención.

(Configuración y función)

La Figura 1 es un diagrama de bloques que muestra un sistema ultrasónico de evaluación según una realización de la presente invención.

Un sistema ultrasónico 1 de evaluación lleva a cabo de forma no destructiva una detección de defectos de una diana de evaluación usando ondas ultrasónicas. Con ese fin, el sistema ultrasónico 1 de evaluación tiene una parte 2 de transmisión ultrasónica, una parte 3 de detección ultrasónica y una parte 4 de detección de desperfectos. La parte 2 de transmisión ultrasónica transmite ondas ultrasónicas a una zona de evaluación, mostrada como zona de inspección en la Figura 1, de una diana de evaluación. La parte 3 de detección ultrasónica detecta las ondas ultrasónicas transmitidas desde la parte 2 de transmisión ultrasónica. La parte 4 de detección de desperfectos detecta desperfectos tales como desprendimiento, deslaminado o agrietamiento en la zona de evaluación de la diana de evaluación en función de las ondas ultrasónicas detectadas en la parte 3 de detección ultrasónica.

Aquí se describirán las características de una onda ultrasónica en dependencia de la frecuencia. Como resultado del estudio de las características de una onda ultrasónica en dependencia de la frecuencia, quedan claras las características siguientes. Se puede considerar que las siguientes características son comunes, sea el material un metal o un material compuesto.

Cuando se transmite una onda ultrasónica que tiene una frecuencia relativamente baja a una diana de evaluación en la que existen desperfectos, la amplitud de una onda reflejada causada por la reflexión de una porción dañada es grande, mientras que la forma de onda de una onda ultrasónica que ha atravesado la porción dañada no cambia hasta un grado suficiente para detectar el desperfecto. En particular, cuando se transmite una onda ultrasónica cuya banda de frecuencia es no inferior a 75 kHz y no superior a 125 kHz a una diana de evaluación en la que hay desperfectos, en una porción dañada se refleja una onda ultrasónica reflejada que tiene una SNR (relación señal-ruido, por sus siglas en inglés) satisfactoria. Por lo tanto, cuando se transmite una onda ultrasónica cuya banda de frecuencia es no inferior a 75 kHz y no superior a 125 kHz a una diana de evaluación en la que hay desperfectos, puede detectarse con precisión práctica una onda ultrasónica reflejada.

Por otra parte, cuando se transmite una onda ultrasónica que tiene una frecuencia relativamente alta a una diana de evaluación en la que existen desperfectos, la amplitud de una onda reflejada causada por la reflexión en una porción dañada es tan pequeña que es difícil que se observe la onda reflejada, mientras que la forma de onda de una onda ultrasónica que ha atravesado la porción dañada cambia hasta un grado suficiente para que sea observada. Además, una onda ultrasónica que tenga alta frecuencia puede ser observada incluso a mayor distancia que una onda ultrasónica que tenga baja frecuencia. En particular, cuando se transmite una onda ultrasónica cuya banda de frecuencia es no inferior a 300 kHz y no superior a 400 kHz a una diana de evaluación en la que hay desperfectos, puede detectarse con precisión práctica un cambio de la forma de onda de una onda ultrasónica que haya atravesado una porción dañada.

En función de los resultados del estudio anteriormente mencionado, la parte 2 de transmisión ultrasónica está compuesta de al menos un transductor ultrasónico que transmite la primera onda ultrasónica que tiene una frecuencia relativamente baja y la segunda onda ultrasónica que tiene una frecuencia relativamente más alta que la de la primera onda ultrasónica hacia una zona de evaluación de una diana de evaluación, respectivamente. Específicamente, la primera onda ultrasónica que tiene una baja frecuencia no inferior a 75 kHz y no superior a 125 kHz, y la segunda onda ultrasónica que tiene una alta frecuencia no inferior a 300 kHz y no superior a 400 kHz, son transmitidas desde la parte 2 de transmisión ultrasónica hacia una zona de evaluación de una diana de evaluación.

Por otro lado, la parte 3 de detección ultrasónica está compuesta de al menos un sensor que detecta una onda reflejada de la primera onda ultrasónica, que tiene baja frecuencia, en una zona de evaluación, y la segunda onda ultrasónica, que tiene alta frecuencia, que ha atravesado la zona de evaluación, respectivamente.

Para transmitir una onda ultrasónica se usa un transductor ultrasónico, tal como un elemento piezoeléctrico. Por otra parte, puede usarse un sensor, tal como un transductor ultrasónico o un sensor de fibra óptica, como sensor para detectar una onda ultrasónica. Cuando se usa como sensor un transductor ultrasónico, una señal ultrasónica es convertida en una señal eléctrica en el transductor ultrasónico.

Por otra parte, cuando se usa un sensor de fibra óptica como sensor, una señal ultrasónica es convertida en una señal óptica en el sensor de fibra óptica. Específicamente, cuando se produce una tensión minúscula en un sensor de fibra óptica debido a la vibración causada por una onda ultrasónica, las características ópticas del sensor de fibra óptica cambian en dependencia de la cantidad de la tensión. En consecuencia, del sensor de fibra óptica puede generarse una señal óptica que tiene una amplitud que depende de la amplitud de la señal ultrasónica. Ejemplos de sensor de fibra óptica incluyen un sensor de FBG o un sensor de PS-FBG (FBG desfasada, por sus siglas en inglés). Una PS-FBG es una FBG en la que se ha introducido un desfase local en el cambio periódico del índice de refracción.

La Figura 2 muestra el primer ejemplo de estructura fundamental de la parte 2 de transmisión ultrasónica y de la parte 3 de detección ultrasónica mostradas en la Figura 1.

Cuando se usa un sensor 10 de fibra óptica como sensor de ondas ultrasónicas, la parte 2 de transmisión ultrasónica y la parte 3 de detección ultrasónica pueden componerse usando al menos un transductor ultrasónico 11 y al menos dos sensores 10A, 10B de fibra óptica, según se muestra en la Figura 2.

Específicamente, la parte 2 de transmisión ultrasónica puede componerse usando un transductor ultrasónico común 11 que transmite secuencialmente la primera onda ultrasónica, que tiene baja frecuencia, y la segunda onda ultrasónica, que tiene alta frecuencia, a una zona de evaluación de una diana de evaluación. Por otro lado, la parte 3 de detección ultrasónica puede componerse usando el primer sensor 10A de fibra óptica y el segundo sensor 10B de fibra óptica. El primer sensor 10A de fibra óptica detecta una onda reflejada de la primera onda ultrasónica, que tiene baja frecuencia, reflejada en la zona de evaluación de la diana de evaluación. El segundo sensor 10B de fibra óptica detecta la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación de la diana de evaluación.

El primer sensor 10A de fibra óptica está dispuesto en las inmediaciones del transductor ultrasónico 11 o similar para poder detectar una onda reflejada de la primera onda ultrasónica. Por otra parte, el segundo sensor 10B de fibra óptica está dispuesto en una posición en la que puede detectarse la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación de la diana de evaluación. Por ejemplo, el segundo sensor 10B de fibra óptica puede estar dispuesto en una posición frente al transductor ultrasónico 11 para que la zona de evaluación de la diana de evaluación se encuentre entre el segundo sensor 10B de fibra óptica y el transductor ultrasónico 11.

La Figura 3 muestra el segundo ejemplo de estructura fundamental de la parte 2 de transmisión ultrasónica y de la parte 3 de detección ultrasónica mostradas en la Figura 1.

Cuando se usa el sensor 10 de fibra óptica como sensor de ondas ultrasónicas, la parte 2 de transmisión ultrasónica y la parte 3 de detección ultrasónica también pueden componerse usando al menos dos transductores ultrasónicos 11A, 11B y al menos un sensor 10 de fibra óptica, según se muestra en la Figura 3.

Específicamente, la parte 2 de transmisión ultrasónica puede componerse usando el primer transductor ultrasónico 11A y el segundo transductor ultrasónico 11B. El primer transductor ultrasónico 11A transmite la primera onda

ultrasónica, que tiene baja frecuencia, hacia una zona de evaluación de una diana de evaluación. El segundo transductor ultrasónico 11B transmite la segunda onda ultrasónica hacia la zona de evaluación desde una dirección diferente de la de la primera onda ultrasónica. Por otro lado, la parte 3 de detección ultrasónica puede componerse usando un sensor común 10 de fibra óptica que detecta tanto una onda reflejada de la primera onda ultrasónica, que

En este caso, el primer transductor ultrasónico 11A está dispuesto en las inmediaciones del sensor 10 de fibra óptica o similar para que la onda reflejada de la primera onda ultrasónica desde la zona de evaluación pueda ser detectada en el sensor 10 de fibra óptica. Por otra parte, el segundo transductor ultrasónico 11B está situado para que la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación de la diana de evaluación pueda ser detectada en el sensor 10 de fibra óptica. Por ejemplo, el segundo transductor ultrasónico 11B puede estar dispuesto en una posición frente al sensor 10 de fibra óptica para que la zona de evaluación de la diana de evaluación se encuentre entre el segundo transductor ultrasónico 11B y el sensor 10 de fibra óptica.

La Figura 4 muestra el tercer ejemplo de estructura fundamental de la parte 2 de transmisión ultrasónica y de la parte 3 de detección ultrasónica mostradas en la Figura 1.

Cuando se usa el transductor ultrasónico 11 como sensor de ondas ultrasónicas, la parte 2 de transmisión ultrasónica y la parte 3 de detección ultrasónica pueden componerse usando al menos dos transductores ultrasónicos 11A, 11B, según se muestra en la Figura 4.

Específicamente, la primera onda ultrasónica, que tiene baja frecuencia, puede ser transmitida desde el primer transductor ultrasónico 11A hacia una zona de evaluación de una diana de evaluación. Por otra parte, la segunda onda ultrasónica, que tiene alta frecuencia, puede ser transmitida por el segundo transductor ultrasónico 11B desde una dirección diferente de la de la primera onda ultrasónica hacia la zona de evaluación de la diana de evaluación. Entonces, el primer transductor ultrasónico 11A puede recibir tanto una onda reflejada de la primera onda ultrasónica reflejada en la zona de evaluación de la diana de evaluación como la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación.

Es decir, el primer transductor ultrasónico 11A puede tener tanto una función de sensor que recibe ondas ultrasónicas como una función que transmite ondas ultrasónicas. En este caso, se usa el primer transductor ultrasónico 11A como elemento compartido tanto por la parte 2 de transmisión ultrasónica como por la parte 3 de detección ultrasónica. Por otra parte, el segundo transductor ultrasónico 11B se usa como un elemento de la parte 2 de transmisión ultrasónica.

El segundo transductor ultrasónico 11B está situado para que la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación de la diana de evaluación pueda ser detectada por el primer transductor ultrasónico 11A. Por ejemplo, el primer transductor ultrasónico 11A y el segundo transductor ultrasónico 11B pueden estar dispuestos uno frente a otro para que la zona de evaluación de la diana de evaluación se encuentre entre el primer transductor ultrasónico 11A y el segundo transductor ultrasónico 11B.

Obsérvese que la parte 2 de transmisión ultrasónica y la parte 3 de detección ultrasónica también pueden componerse combinando entre sí las estructuras fundamentales, mostradas en la Figura 2, la Figura 3 y la Figura 4. Naturalmente, la parte 2 de transmisión ultrasónica y la parte 3 de detección ultrasónica también pueden componerse disponiendo múltiples estructuras fundamentales en unidades de cada estructura fundamental mostrada en la Figura 2, la Figura 3 y la Figura 4.

Pueden usarse ondas esféricas sin direccionalidad como primera onda ultrasónica, que tiene baja frecuencia, y segunda onda ultrasónica, que tiene alta frecuencia. Alternativamente, cuando se usan ondas ultrasónicas que tienen direccionalidad, puede evitarse la detección de ondas ultrasónicas desde direcciones no previstas. Por lo tanto, usar ondas ultrasónicas que tienen direccionalidad como primera onda ultrasónica y segunda onda ultrasónica lleva a una mejora en la SNR y la precisión. Obsérvese que, incluso cuando se usa una onda ultrasónica que tiene direccionalidad, la onda ultrasónica se dispersa en realidad en la dirección de desplazamiento de la onda ultrasónica. Por lo tanto, la segunda onda ultrasónica puede ser detectada siempre que, especialmente, haya dispuesto un sensor para detectar la segunda onda ultrasónica en una zona en la que se propaga la segunda onda ultrasónica, y no es necesario situar el sensor para detectar la segunda onda ultrasónica completamente frente al transductor ultrasónico 11 para transmitir la segunda onda ultrasónica.

Desde el punto de vista de la mejora de la SNR y la precisión, las ondas ultrasónicas especialmente preferibles incluyen las ondas de Lamb. Por lo tanto, es preferible transmitir ondas de Lamb como primera onda ultrasónica y segunda onda ultrasónica. La onda de Lamb se propaga a través de una placa delgada cuyo grosor no es más de la mitad de la longitud de onda de la onda ultrasónica, e incluye tanto un modo simétrico como un modo asimétrico.

Cuando se usa un sensor que tiene direccionalidad de recepción para detectar ondas ultrasónicas, puede evitarse la detección de ondas ultrasónicas que se propaguen desde direcciones innecesarias, y pueden detectarse selectivamente las señales ultrasónicas necesarias. Por lo tanto, es preferible dar direccionalidad tanto a un elemento

transmisor como a un sensor de ondas ultrasónicas. Obsérvese que, en caso de dar direccionalidad tanto a un elemento transmisor como a un sensor de ondas ultrasónicas, es necesario disponer el elemento transmisor y el sensor de ondas ultrasónicas para que se solapen entre sí la zona de propagación de una onda ultrasónica, que es una diana de detección, y una zona en la cual puede detectarse una onda ultrasónica.

El sensor 10 de fibra óptica, tal como un sensor de FBG, es un ejemplo típico de un sensor que tiene direccionalidad de recepción. Por lo tanto, cuando la parte 2 de transmisión ultrasónica y la parte 3 de detección ultrasónica se componen usando el sensor 10 de fibra óptica como sensor, según se muestra en la Figura 2 y la Figura 3, puede mejorarse la precisión de detección de la primera onda ultrasónica y de la segunda onda ultrasónica. Por otra parte, cuando la parte 2 de transmisión ultrasónica y la parte 3 de detección ultrasónica se componen usando dos transductores ultrasónicos 11A y 11B, según se muestra en la Figura 4, puede simplificarse la configuración de la parte 2 de transmisión ultrasónica y la parte 3 de detección ultrasónica.

La parte 4 de detección de desperfectos tiene una función de detectar desperfectos en una zona de evaluación de una diana de evaluación en función tanto de una onda reflejada de la primera onda ultrasónica, que tiene baja frecuencia, reflejada en la zona de evaluación, como de la segunda onda ultrasónica, que tiene alta frecuencia, que ha atravesado la zona de evaluación. Con ese fin, la parte 4 de detección de desperfectos también tiene una función de llevar a cabo el procesamiento necesario para detectar una señal ultrasónica con la necesaria SNR.

Ejemplos de preprocesamiento para detectar la forma de onda de una señal ultrasónica incluyen el procesamiento, tal como un promediado, un procesamiento de eliminación de ruido y la detección de la envolvente. En caso de llevar a cabo un promediado, una onda ultrasónica es transmitida y detectada el número de veces requerido. A continuación, se suman y se promedian las señales ultrasónicas detectadas múltiples veces. El procesamiento de eliminación de ruido se puede llevar a cabo mediante procesamiento de filtro usando un LPF (filtro de paso bajo, por sus siglas en inglés), un HPF (filtro de paso alto, por sus siglas en inglés) o similar para la eliminación de la componente de ruido de, por ejemplo, una señal ultrasónica detectada.

Cuando el promediado y el procesamiento de eliminación de ruido anteriormente mencionados se llevan a cabo como preprocesamiento, puede garantizarse una SNR suficiente. Además, cuando se realiza la detección de la envolvente, pueden mejorarse la precisión de la detección de un pico y la precisión del análisis de una forma de onda.

Las Figuras 5A y 5B muestran un ejemplo de formas de onda de ondas reflejadas de las primeras ondas ultrasónicas, cada una de las cuales tiene una baja frecuencia.

En las Figuras 5A y 5B, cada eje vertical muestra la amplitud relativa (intensidad relativa) de una señal detectada por un sensor para detectar una onda reflejada de la primera onda ultrasónica, mientras que cada eje horizontal muestra el tiempo transcurrido desde el momento de transmisión de la primera onda ultrasónica. La Figura 5A muestra la forma de onda de una señal detectada, que incluye una onda reflejada de la primera onda ultrasónica, detectada por un sensor, teniendo como diana una zona de evaluación sin desperfectos. Por otra parte, la Figura 5B muestra la forma de onda de una señal detectada, que incluye una onda reflejada de la primera onda ultrasónica, detectada por un sensor, teniendo como diana una zona de evaluación en la que hay desperfectos. En las Figuras 5A y 5B, cada línea continua muestra una señal detectada promediada proveniente del sensor, mientras que cada línea de puntos y rayas muestra una curva de envolvente de la señal detectada obtenida por la detección de la envolvente de la señal detectada promediada.

Como se muestra en las Figuras 5A y 5B, la posición pico de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica cambia dependiendo de la existencia de desperfectos y de la posición del desperfecto en una zona de evaluación. En el ejemplo mostrado en la Figura 5A, incluso cuando no hay desperfecto alguno, se ha detectado la onda reflejada de la primera onda ultrasónica reflejada desde una porción terminal de un objeto adhesivo adherido a la zona de evaluación o a otro objeto estructural. Así, puede obtenerse previamente el momento correspondiente a un pico de la forma de onda de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica reflejada en una zona de evaluación sin desperfectos para identificar la onda reflejada de la primera onda ultrasónica reflejada en una porción dañada en la zona de evaluación.

La onda reflejada de la primera onda ultrasónica reflejada en la zona de evaluación puede ser extraída de una señal detectada por un sensor usado para detectar la onda reflejada de la primera onda ultrasónica en función de la distancia entre el transductor ultrasónico 11 usado para transmitir la primera onda ultrasónica y la zona de evaluación, de la distancia entre el sensor y la zona de evaluación, y de la velocidad del sonido en la diana de evaluación.

Específicamente, dado que la suma de la distancia entre el transductor ultrasónico 11 y la zona de evaluación y de la distancia entre el sensor y la zona de evaluación es la distancia de propagación de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica, puede estimarse en función de la velocidad del sonido el intervalo de tiempo desde el instante de la transmisión de la primera onda ultrasónica por parte del transductor ultrasónico 11 hasta el instante de la detección de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica reflejada en la zona de evaluación por parte del sensor. A continuación, la porción de la forma de onda en el intervalo de tiempo calculado puede ser extraída de la señal detectada como la onda reflejada de la primera onda ultrasónica reflejada en la zona de evaluación, como muestra cada cuadro delimitado por línea discontinua.

Cuando se extrae la forma de onda de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica reflejada en la zona de evaluación, puede detectarse un pico. Resulta práctico detectar un pico de una curva de envolvente, en consideración de la precisión. Cuando se detecta un pico de la forma de onda de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica, puede registrarse como tiempo de referencia el tiempo transcurrido correspondiente al pico.

A continuación, en función de la variación del tiempo pico de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica, en caso de que se hayan producido desperfectos, a partir del tiempo de referencia puede detectarse si se ha producido un desperfecto y la posición del desperfecto en la dirección de desplazamiento de la primera onda ultrasónica y de la onda reflejada. Específicamente, con un método similar al del cálculo del tiempo de referencia, puede obtenerse el tiempo transcurrido correspondiente al pico de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica en caso de que se hayan producido desperfectos. A continuación, puede calcularse la diferencia entre el tiempo transcurrido correspondiente al pico de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica y el tiempo de referencia; es decir, la variación en los tiempos pico de las ondas reflejadas antes y después del desperfecto.

Acto seguido, cuando la variación en los tiempos pico de las ondas reflejadas antes y después del desperfecto llega a ser no menor que un umbral o cuando la variación llega a ser mayor que el umbral, puede determinarse que existe un desperfecto. Cuando se determina que existe un desperfecto, puede detectarse la distancia entre el transductor ultrasónico 11 usado para transmitir la primera onda ultrasónica y la porción dañada, y la distancia entre un sensor usado para detectar la onda reflejada de la primera onda ultrasónica y la porción dañada en función del tiempo pico de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica después del desperfecto y de la velocidad del sonido. Por ello, se puede detectar la posición unidimensional del desperfecto en la dirección de desplazamiento de la primera onda ultrasónica y de la onda reflejada.

Debido al desprendimiento de una porción terminal de un objeto adhesivo adherido a la zona de evaluación, se generó la diferencia entre el tiempo pico de referencia de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica antes del desperfecto y del tiempo pico de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica después del desperfecto. Es decir, se puede considerar que la primera onda ultrasónica se reflejó en la porción terminal del objeto adhesivo adherido a la zona de evaluación antes del desperfecto. Por otra parte, puede considerarse que la primera onda ultrasónica se reflejó en un límite entre una zona en la que el objeto adhesivo se hubiera desprendido y una zona en la que el objeto adhesivo no se hubiera desprendido, sin reflejarse en la porción terminal del objeto adhesivo después del desperfecto, como consecuencia del desprendimiento de la porción terminal del objeto adhesivo. Por lo tanto, la distancia desde la porción terminal del objeto adhesivo antes del desprendimiento hasta el límite entre la zona en la que el objeto adhesivo se ha desprendido y la zona en la que el objeto adhesivo no se ha desprendido puede ser calculada en función de la diferencia de tiempo entre el tiempo pico de referencia de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica antes del desperfecto y el tiempo pico de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica después del desperfecto.

Según se ha descrito anteriormente, la parte 4 de detección de desperfectos puede detectar la posición de un desperfecto que existe en una zona de evaluación en función del periodo desde el momento de transmisión de la primera onda ultrasónica, que tiene baja frecuencia, hasta el momento en que la onda reflejada de la primera onda ultrasónica muestra un pico. Obsérvese que, cuando la detección de la existencia de desperfectos y la medición de la distancia de una zona desprendida desde una porción terminal de un objeto adhesivo no se llevan a cabo en función de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica, se puede omitir la obtención de un tiempo de referencia, teniendo como diana una zona de evaluación sin desperfectos.

Además, cuando la primera onda ultrasónica no se refleja en una zona de evaluación antes del desperfecto, tal como un caso en el que el desperfecto no es un desprendimiento de un objeto adhesivo, sino un agrietamiento en la zona de evaluación, también se puede omitir la obtención de un tiempo de referencia, teniendo como diana una zona de evaluación sin el desperfecto.

Las Figuras 6A y 6B muestran un ejemplo de formas de onda de las segundas ondas ultrasónicas, cada una de las cuales tiene una alta frecuencia.

En las Figuras 6A y 6B, cada eje vertical muestra la amplitud relativa (intensidad relativa) de una señal detectada por un sensor para detectar la segunda onda ultrasónica, mientras que cada eje horizontal muestra el tiempo transcurrido desde el momento de transmisión de la segunda onda ultrasónica. La Figura 6A muestra la forma de onda de una señal detectada, que incluye la segunda onda ultrasónica, detectada por el sensor, teniendo como diana una zona de evaluación sin desperfectos. Por otra parte, la Figura 6B muestra la forma de onda de una señal detectada, que incluye la segunda onda ultrasónica, detectada por un sensor, teniendo como diana una zona de evaluación en la que hay desperfectos. En las Figuras 6A y 6B, cada línea continua muestra una señal detectada promediada por el sensor, mientras que cada línea de puntos y rayas muestra una curva de envolvente de la señal detectada obtenida por la detección de la envolvente de la señal detectada promediada.

Como se muestra en las Figuras 6A y 6B, la forma de onda de la segunda onda ultrasónica cambia dependiendo de la existencia de desperfectos en una zona de evaluación. Así, puede obtenerse previamente la forma de onda de la segunda onda ultrasónica teniendo como diana una zona de evaluación sin desperfectos. La forma de onda de la

segunda onda ultrasónica puede ser extraída de una señal detectada por un sensor en función de la velocidad del sonido y de la distancia de propagación de la onda ultrasónica, de forma similar a la forma de onda de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica. La forma de onda de la segunda onda ultrasónica correspondiente a la zona de evaluación sin desperfectos puede ser almacenada como una forma de onda de referencia.

Entonces, la existencia de desperfectos en una zona de evaluación puede ser detectada en función de un cambio de la forma de onda de la segunda onda ultrasónica, en caso de que se hayan producido desperfectos, con respecto a la forma de onda de referencia. El grado del cambio de la forma de onda de la segunda onda ultrasónica, en caso de que se hayan producido desperfectos, con respecto a la forma de onda de referencia puede ser expresado usando un índice, tal como un coeficiente de correlación cruzada o un error cuadrático. También es práctico comparar entre sí formas de onda de curvas de envolvente, en consideración de la precisión.

Cuando, a partir de la forma de onda de referencia, se obtiene un índice que muestra una variación de la forma de onda de la segunda onda ultrasónica, en caso de que se hayan producido desperfectos, la existencia del desperfecto puede ser determinada mediante el procesamiento del umbral del índice. Específicamente, cuando la variación de la forma de onda llega a ser no menor que un umbral o cuando la variación llega a ser mayor que el umbral, se puede determinar que existe un desperfecto en la zona de evaluación.

Como se ha descrito anteriormente, la parte 4 de detección de desperfectos puede detectar la existencia de desperfectos en una zona de evaluación en función de una variación de la forma de onda de la segunda onda ultrasónica, que tiene alta frecuencia.

La parte 4 de detección de desperfectos también puede ser configurada para poder medir una longitud de deslaminado o desprendimiento, además de detectar la existencia de desperfectos y detectar la posición del desperfecto en una zona de evaluación. Como método de medición de la longitud de un desperfecto se puede usar, por ejemplo, el método descrito en la publicación de solicitud de patente japonesa JP 2011-185921 A.

La parte 4 de detección de desperfectos que tiene las funciones anteriormente descritas puede estar compuesta de un programa de lectura en ordenador. También puede usarse al menos un circuito para componer la parte 4 de detección de desperfectos. Un ordenador también está compuesto de circuitos electrónicos. Por lo tanto, cuando se parte de la premisa de que un ordenador es un tipo de circuito, también puede decirse que la parte 4 de detección de desperfectos puede estar compuesta de circuitos.

(Operación y acción)

A continuación, se describirá un método ultrasónico de evaluación de una diana de evaluación usando el sistema ultrasónico 1 de evaluación.

La Figura 7 es un diagrama de flujo que muestra un flujo ejemplar en un caso de ejecución de una prueba de detección de defectos en una zona de evaluación de una diana de evaluación mediante el sistema ultrasónico 1 de evaluación mostrado en la Figura 1.

En primer lugar, en la etapa S1, se transmite la primera onda ultrasónica, que tiene baja frecuencia, desde el transductor ultrasónico 11 de la parte 2 de transmisión ultrasónica hacia una zona de evaluación de una diana de evaluación sin desperfectos. A continuación, la onda reflejada de la primera onda ultrasónica reflejada en la zona de evaluación es detectada por un sensor de la parte 3 de detección ultrasónica. La señal detectada que incluye la onda reflejada detectada de la primera onda ultrasónica se envía a la parte 4 de detección de desperfectos. La parte 4 de detección de desperfectos detecta el tiempo pico de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica. El tiempo pico detectado de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica se registra en la parte 4 de detección de desperfectos como tiempo pico de referencia.

A continuación, en la etapa S2, se transmite la segunda onda ultrasónica, que tiene alta frecuencia, desde el transductor ultrasónico 11 de la parte 2 de transmisión ultrasónica hacia la zona de evaluación de la diana de evaluación sin desperfectos. Acto seguido, la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación es detectada por un sensor de la parte 3 de detección ultrasónica. La señal detectada que incluye la segunda onda ultrasónica detectada se envía a la parte 4 de detección de desperfectos. La parte 4 de detección de desperfectos detecta la forma de onda de la segunda onda ultrasónica. La forma de onda detectada de la segunda onda ultrasónica se registra en la parte 4 de detección de desperfectos como forma de onda de referencia.

Obsérvese que el orden de la etapa S1 y la etapa S2 es arbitrario. Además, cuando no se usa el tiempo pico de referencia de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica para detectar un desperfecto, se puede omitir la etapa S1. Entonces, cuando se obtiene al menos la forma de onda de referencia de la segunda onda ultrasónica correspondiente a la zona de evaluación de la diana de evaluación sin desperfectos, se hace posible monitorizar si se ha producido un desperfecto en la zona de evaluación. Alternativamente, se hace posible inspeccionar secuencialmente la existencia de desperfectos teniendo como diana zonas de evaluación de un gran número de dianas de evaluación, cada una de las cuales tiene una forma similar.

En caso de inspeccionar la misma diana de evaluación u otra, se transmite la segunda onda ultrasónica, que tiene alta frecuencia, desde el transductor ultrasónico 11 de la parte 2 de transmisión ultrasónica hacia la zona de evaluación de la diana de evaluación, en la etapa S3. Entonces, la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación de la diana de evaluación es detectada por el sensor de la parte 3 de detección ultrasónica. La señal detectada que incluye la segunda onda ultrasónica detectada se envía a la parte 4 de detección de desperfectos. La parte 4 de detección de desperfectos detecta la forma de onda de la segunda onda ultrasónica.

A continuación, en la etapa S4, la parte 4 de detección de desperfectos determina si existe un desperfecto en la zona de evaluación a la que se ha transmitido la segunda onda ultrasónica, comparando la forma de onda de la segunda onda ultrasónica con la forma de onda de referencia. Específicamente, se determina si existe un desperfecto en la zona de evaluación a la que ha sido transmitida la segunda onda ultrasónica procesando un umbral de un índice que muestra una diferencia entre la forma de onda de la segunda onda ultrasónica y la forma de onda de referencia.

Entonces, cuando se ha determinado que no existe desperfecto alguno, puede repetirse de forma intermitente la transmisión de la segunda onda ultrasónica, que tiene alta frecuencia, hasta que se determine que existe un desperfecto. Alternativamente, cuando se llevan a cabo pruebas de detección de defectos de múltiples dianas de evaluación, como piezas de aeronave fabricadas secuencialmente en una línea de producción, puede iniciarse una inspección transmitiendo la segunda onda ultrasónica, que tiene alta frecuencia, a otra diana de evaluación.

Por otra parte, cuando se ha determinado que existe un desperfecto, se transmite la primera onda ultrasónica, que tiene baja frecuencia, desde el transductor ultrasónico 11 de la parte 2 de transmisión ultrasónica hacia la zona de evaluación de la diana de evaluación, en la etapa S5. A continuación, la onda reflejada de la primera onda ultrasónica, reflejada en la zona de evaluación de la diana de evaluación, es detectada por el sensor de la parte 3 de detección ultrasónica. La señal detectada que incluye la onda reflejada detectada de la primera onda ultrasónica se envía a la parte 4 de detección de desperfectos. La parte 4 de detección de desperfectos detecta la forma de onda y el tiempo pico de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica.

Acto seguido, en la etapa S6, la parte 4 de detección de desperfectos determina si existe un desperfecto en la zona de evaluación a la que se ha transmitido la primera onda ultrasónica comparando el tiempo pico de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica con el tiempo pico de referencia. Específicamente, que exista un desperfecto en la zona de evaluación a la que se ha transmitido la primera onda ultrasónica se determina mediante el procesamiento de umbral de una diferencia entre el tiempo pico de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica y el tiempo pico de referencia.

Cuando se ha determinado que no existe desperfecto, quiere decir que la primera onda ultrasónica no se ha reflejado en el desperfecto confirmado en la zona de evaluación transmitiendo la segunda onda ultrasónica. Por lo tanto, en la etapa S7 se cambia al menos una de una dirección y una posición del transductor ultrasónico 11 para la transmisión. A continuación, se vuelven a obtener una forma de onda y un tiempo pico de onda reflejada de la primera onda ultrasónica. Obsérvese que se puede cambiar al menos una de una dirección y una posición del transductor ultrasónico 11 para la transmisión antes de la primera transmisión de la primera onda ultrasónica.

Por otra parte, cuando se ha determinado que existe un desperfecto, en la etapa S8 la parte 4 de detección de desperfectos detecta la posición del desperfecto en función del tiempo pico de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica. Además, cuando el desperfecto es el desprendimiento de un objeto adhesivo, también se puede detectar, en función de una diferencia temporal entre el tiempo pico de referencia y el tiempo pico, la longitud de una zona en la que el objeto adhesivo se ha desprendido. Por ello, pueden confirmarse la existencia de desperfectos en la zona de evaluación de la diana de evaluación y la posición del desperfecto detectado.

A continuación se describirá un método ejemplar de elaboración de una pieza de aeronave con una monitorización de desperfectos usando el sistema ultrasónico 1 de evaluación.

La Figura 8 muestra un ejemplo de disposición de los transductores ultrasónicos 11 y de los sensores 10 de fibra óptica en una pieza de aeronave que es una diana de monitorización de desperfectos por parte del sistema ultrasónico 1 de evaluación mostrado en la Figura 1. La Figura 9 es una vista del lado izquierdo de la pieza de aeronave mostrada en la Figura 8.

Cuando se ha producido un desperfecto leve en una superficie de una pieza 20 de aeronave que está fabricada principalmente de un material compuesto, tal como CFRP (plásticos reforzados con fibra de carbono, por sus siglas en inglés), a veces se adhiere un parche discoidal 23 a una zona que incluye una parte que ha de ser reparada de la pieza 20 de aeronave, para reparar el desperfecto. En el ejemplo mostrado en la Figura 8, la pieza 20 de aeronave que incluye un panel 21 cuyos larguerillos 22 han sido dispuestos en un lado es una diana que ha de ser reparada. El parche 23 se ha adherido al otro lado del panel 21, en el cual no se han dispuesto los larguerillos 22.

En tal caso, la existencia de desprendimiento del parche 23 puede ser monitorizada usando el sistema ultrasónico 1 de evaluación. Específicamente, los múltiples transductores ultrasónicos 11 y los múltiples sensores 10 de fibra óptica pueden estar dispuestos alrededor del parche 23 para que se pueda detectar el desprendimiento del parche 23. En el

ejemplo mostrado en la Figura 8, se han dispuesto seis conjuntos de los transductores ultrasónicos 11 y los sensores 10 de fibra óptica en posiciones que rodean el parche 23 dentro de un alcance en el que pueden transmitirse y recibirse mutuamente las segundas ondas ultrasónicas.

En el ejemplo mostrado en la Figura 8, los transductores ultrasónicos 11 y los sensores 10 de fibra óptica han sido fijados a la superficie del panel 21 al que no se ha adherido el parche 23; es decir, la superficie del panel 21 situada frente al lado del parche 23. Alternativamente, los transductores ultrasónicos 11 y los sensores 10 de fibra óptica pueden fijarse a la superficie del panel 21 en la que ha sido adherido el parche 23; es decir, la superficie en el lado del parche 23 del panel 21. Además, los transductores ultrasónicos 11 y los sensores 10 de fibra óptica también pueden estar fijados en el parche 23.

Es importante fijar los transductores ultrasónicos 11 y los sensores 10 de fibra óptica en el mismo lado del panel 21 para detectar la existencia de un desprendimiento del parche 23 con precisión satisfactoria. En particular, fijar los transductores ultrasónicos 11 y los sensores 10 de fibra óptica en el lado del parche 23 del panel 21 conduce a la mejora en la precisión de la detección de un desprendimiento del parche 23. No obstante, puede ser difícil fijar los transductores ultrasónicos 11 y los sensores 10 de fibra óptica en el lado del parche 23 del panel 21 debido a la estructura de la pieza 20 de aeronave. En tal caso, incluso cuando los transductores ultrasónicos 11 y los sensores 10 de fibra óptica están fijados en la superficie del panel 21 frente al lado del parche 23, según se muestra en la Figura 8, puede detectarse con precisión suficiente la existencia de un desprendimiento del parche 23.

Más específicamente, la primera onda ultrasónica, que tiene baja frecuencia, y la segunda onda ultrasónica, que tiene alta frecuencia, pueden ser transmitidas a una zona de evaluación que es una superficie límite entre una zona que incluye una parte que ha de ser reparada y el parche 23. A continuación, puede obtenerse una onda reflejada de la primera onda ultrasónica en la zona de evaluación y la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación como información para monitorizar si se ha producido un desperfecto en la zona de evaluación.

Por lo tanto, la parte que ha de repararse de la pieza 20 de aeronave puede ser reparada con la confirmación de que no se ha producido un desperfecto, tal como un desprendimiento, del parche 23. Por ello, puede elaborarse la pieza reparada 20 de aeronave.

Como consecuencia de detectar realmente el desprendimiento del parche 23, al que se hizo avanzar artificialmente, usando el sistema ultrasónico 1 de evaluación, se confirmó que puede detectarse principalmente una forma de la zona de desprendimiento del parche 23. En esta evaluación se usaron seis conjuntos de los transductores ultrasónicos 11 y los sensores 10 de fibra óptica, según se muestra en la Figura 8, y las primeras ondas ultrasónicas se transmitieron y recibieron de forma mutua. Similarmente, también se transmitieron y recibieron de forma mutua las segundas ondas ultrasónicas usando los seis conjuntos de los transductores ultrasónicos 11 y los sensores 10 de fibra óptica.

A continuación, se sometió a todas las formas de onda de las segundas ondas ultrasónicas antes y después de la incidencia de desperfectos a un análisis de frecuencias en el dominio temporal, y se determinó la existencia de un cambio en la forma de onda en la segunda onda ultrasónica en función de una autocorrelación. Además, se obtuvieron la velocidad de la onda ultrasónica y la posición en una porción terminal de una zona de desprendimiento del parche 23 como la posición en la que se reflejó la primera onda ultrasónica, en función de un cambio en el momento, antes y después del desperfecto, en el que una onda reflejada de la primera onda ultrasónica alcanzó a cada uno de los sensores 10 de fibra óptica. En consecuencia, se confirmó que puede detectarse con precisión satisfactoria la posición en la porción terminal de la zona de desprendimiento del parche 23, que cambia debido a la repetición del avance del desperfecto.

Es decir, el sistema ultrasónico 1 de evaluación y el método ultrasónico de evaluación anteriormente descritos son para detectar un desperfecto, tal como un deslaminado o un agrietamiento, en una pieza adhesiva o una pieza unida usando dos tipos de ondas ultrasónicas cuyas frecuencias centrales difieren entre sí. Específicamente, el sistema ultrasónico 1 de evaluación y el método ultrasónico de evaluación permiten inspeccionar la existencia de un desperfecto, teniendo como diana una gran zona de evaluación usando la segunda onda ultrasónica cuya banda de frecuencia es alta, y detectando la posición del desperfecto usando una onda reflejada de la primera onda ultrasónica cuya banda de frecuencia es baja.

(Efectos)

Por lo tanto, el sistema ultrasónico 1 de evaluación y el método ultrasónico de evaluación permiten detectar un desperfecto con gran precisión, teniendo como diana una zona de evaluación mayor que la del método convencional.

Convencionalmente, se viene ejecutando un método de detección de un desperfecto detectando una onda reflejada que se refleja en una pieza dañada usando únicamente una onda ultrasónica, que tiene baja frecuencia, aproximadamente de 50 kHz a 100 kHz. Sin embargo, usar una onda ultrasónica que tiene baja frecuencia solo puede detectar un desperfecto que exista en la dirección de desplazamiento de la onda ultrasónica y exista a corta distancia. Es decir, cuando se usa únicamente una onda ultrasónica que tiene baja frecuencia, la detección de un desperfecto con un alcance amplio se vuelve difícil.

En cambio, el sistema ultrasónico 1 de evaluación y el método ultrasónico de evaluación permiten detectar un desperfecto en con un alcance más amplio que en el método convencional, dado que se usa una onda transmitida de la segunda onda ultrasónica, que tiene alta frecuencia, además de una onda reflejada de la primera onda ultrasónica, que tiene baja frecuencia. Como resultado, cuando se lleva a cabo una inspección de detección de defectos teniendo como diana una gran zona de evaluación, no solo puede mejorar la precisión de la detección de desperfectos, sino que también puede reducirse el número de sensores.

Aunque se han descrito ciertas realizaciones, estas realizaciones han sido presentadas únicamente a título de ejemplo, y no ha de entenderse que limiten el alcance de las reivindicaciones. Ciertamente, los métodos y los sistemas novedosos descritos en el presente documento pueden ser implementados de diversas formas adicionales; además, pueden efectuarse omisiones, sustituciones y cambios diversos en la forma de los métodos y los sistemas descritos en el presente documento sin apartarse del alcance de las reivindicaciones. Se pretende que las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes abarquen tales formas o modificaciones que se encuentren dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema ultrasónico (1) de evaluación para evaluar materiales metálicos y materiales compuestos que comprende:

una parte (2) de transmisión ultrasónica que transmite una primera onda ultrasónica y una segunda onda ultrasónica, teniendo la segunda onda ultrasónica una frecuencia mayor que la frecuencia de la primera onda ultrasónica, reflejándose la primera onda ultrasónica sobre un desperfecto en una zona de evaluación, atravesando la segunda onda ultrasónica la zona de evaluación;
una parte (3) de detección ultrasónica que detecta una onda reflejada de la primera onda ultrasónica y la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación, habiéndose reflejado la zona reflejada en el desperfecto; y
una parte (4) de detección de desperfectos configurada para detectar el desperfecto en la zona de evaluación en función de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica y la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación, en donde la parte (2) de transmisión ultrasónica está configurada para transmitir una onda ultrasónica cuya frecuencia no es inferior a 75 kHz ni superior a 125 kHz, como primera onda ultrasónica y en donde la parte (2) de transmisión ultrasónica está configurada para transmitir una onda ultrasónica cuya frecuencia no es inferior a 300 kHz ni superior a 400 kHz, como segunda onda ultrasónica.

2. El sistema ultrasónico (1) de evaluación según la reivindicación 1 en donde la parte (2) de transmisión ultrasónica tiene al menos un transductor ultrasónico (11) que transmite la primera onda ultrasónica y la segunda onda ultrasónica hacia la zona de evaluación, y la parte (3) de detección ultrasónica tiene:

un primer sensor (10A) de fibra óptica que detecta la onda reflejada de la primera onda ultrasónica; y
un segundo sensor (10B) de fibra óptica que detecta la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación.

3. El sistema ultrasónico (1) de evaluación según la reivindicación 1 en donde la parte (2) de transmisión ultrasónica tiene:

un primer transductor ultrasónico (11A) que transmite la primera onda ultrasónica hacia la zona de evaluación; y
un segundo transductor ultrasónico (11B) que transmite la segunda onda ultrasónica hacia la zona de evaluación desde una dirección diferente de la dirección de la primera onda ultrasónica; y
la parte (3) de detección ultrasónica tiene: al menos un sensor (10) de fibra óptica que detecta la onda reflejada de la primera onda ultrasónica y la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación.

4. El sistema ultrasónico (1) de evaluación según la reivindicación 1 en donde la parte (2) de transmisión ultrasónica y la parte (3) de detección ultrasónica tienen:

un primer transductor ultrasónico (11A) que transmite la primera onda ultrasónica hacia la zona de evaluación; y
un segundo transductor ultrasónico (11B) que transmite la segunda onda ultrasónica hacia la zona de evaluación desde una dirección diferente de la dirección de la primera onda ultrasónica, en donde el primer transductor ultrasónico (11A) está configurado para recibir la onda reflejada de la primera onda ultrasónica y la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación.

5. El sistema ultrasónico (1) de evaluación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 en donde la parte (2) de transmisión ultrasónica está configurada para transmitir ondas de Lamb como primera onda ultrasónica y segunda onda ultrasónica, respectivamente.

6. El sistema ultrasónico (1) de evaluación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 en donde la parte (4) de detección de desperfectos está configurada para:

detectar la existencia de un desperfecto en función de una variación de la forma de onda de la segunda onda ultrasónica; y
detectar la posición del desperfecto en función del periodo desde el momento de transmisión de la primera onda ultrasónica hasta el momento en que la onda reflejada de la primera onda ultrasónica muestra un pico.

7. Un método ultrasónico de evaluación para evaluar materiales metálicos y materiales compuestos que comprende:

transmitir una primera onda ultrasónica y una segunda onda ultrasónica,

teniendo la segunda onda ultrasónica una frecuencia mayor que la frecuencia de la primera onda ultrasónica, reflejándose la primera onda ultrasónica sobre un desperfecto en una zona de evaluación, atravesando la segunda onda ultrasónica la zona de evaluación;

5 detectar una onda reflejada de la primera onda ultrasónica y la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación, habiéndose reflejado la zona reflejada en el desperfecto; y
 detectar el desperfecto en la zona de evaluación en función de la onda reflejada de la primera onda ultrasónica y la segunda onda ultrasónica que ha atravesado la zona de evaluación,
 en donde la primera onda ultrasónica tiene una frecuencia no inferior a 75 kHz y no superior a 125 kHz y
 10 en donde la segunda onda ultrasónica tiene una frecuencia no inferior a 300 kHz y no superior a 400 kHz.

8. Un método de elaboración de una pieza (20) de aeronave que comprende:

15 adherir un parche (23) a una zona que incluye una parte que ha de ser reparada de una pieza (20) de aeronave;
 monitorizar, mediante el método ultrasónico de evaluación según la reivindicación 7, si se ha producido un desperfecto en la zona de evaluación, siendo la zona de evaluación una superficie límite entre la zona que incluye la parte que ha de repararse y el parche (23); y
 elaborar una pieza reparada de aeronave reparando la parte que ha de repararse de la pieza (20) de aeronave.

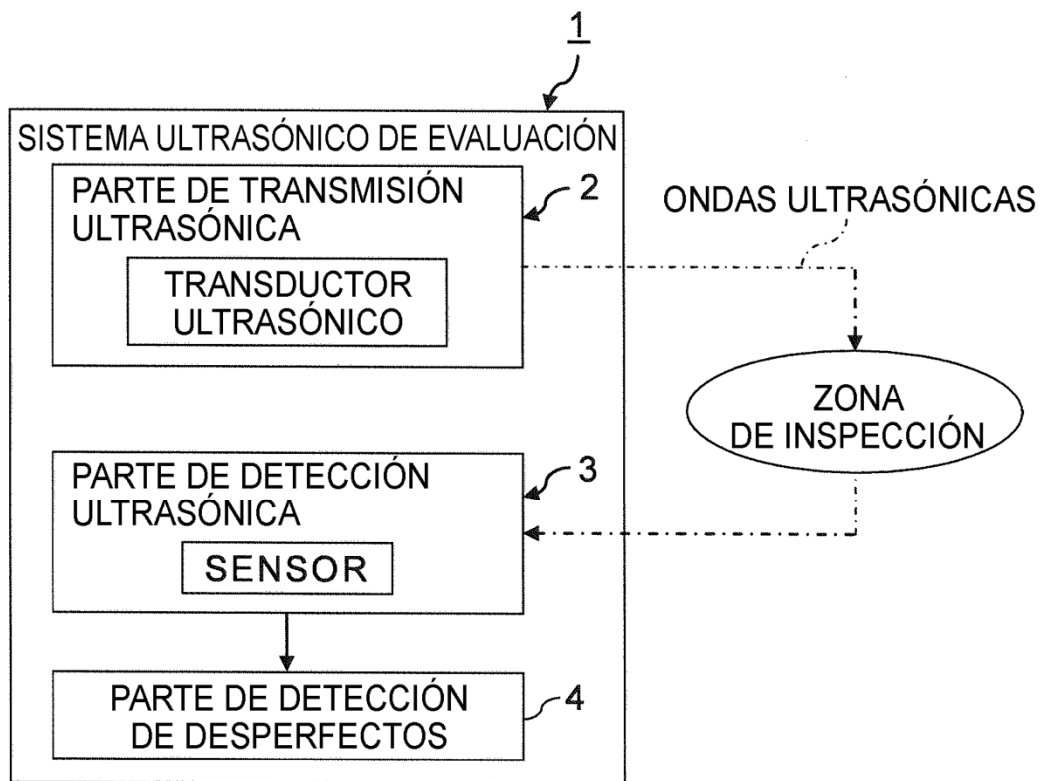


FIG. 1

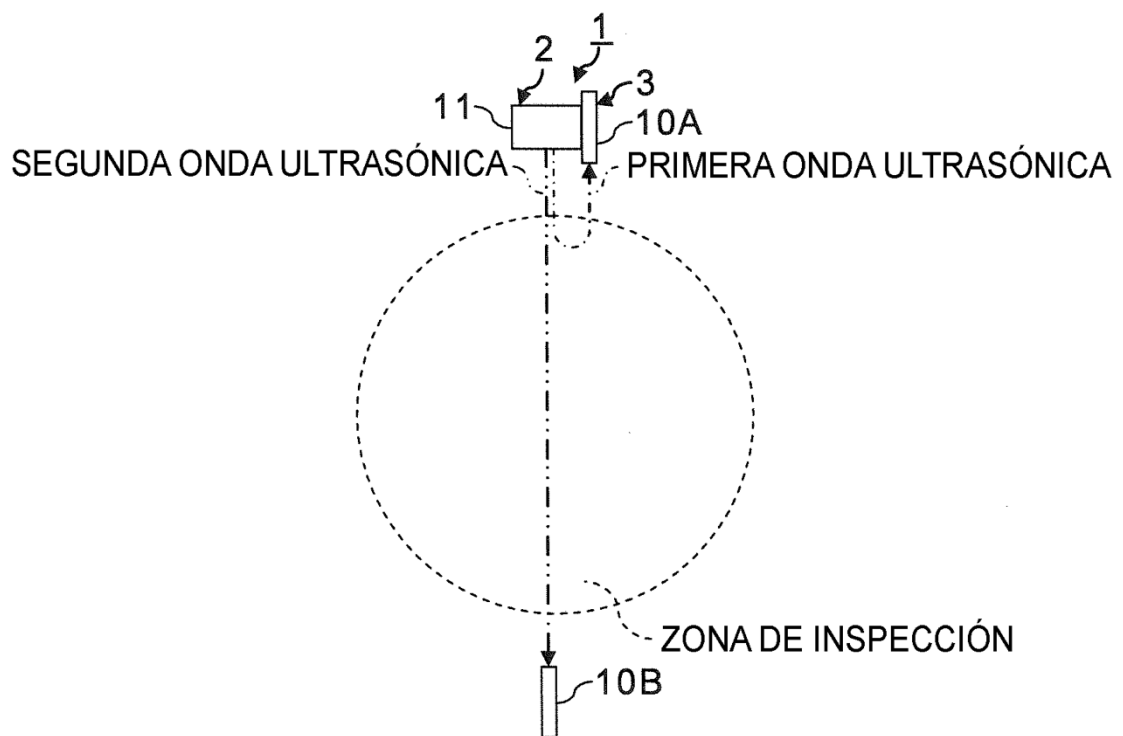


FIG. 2

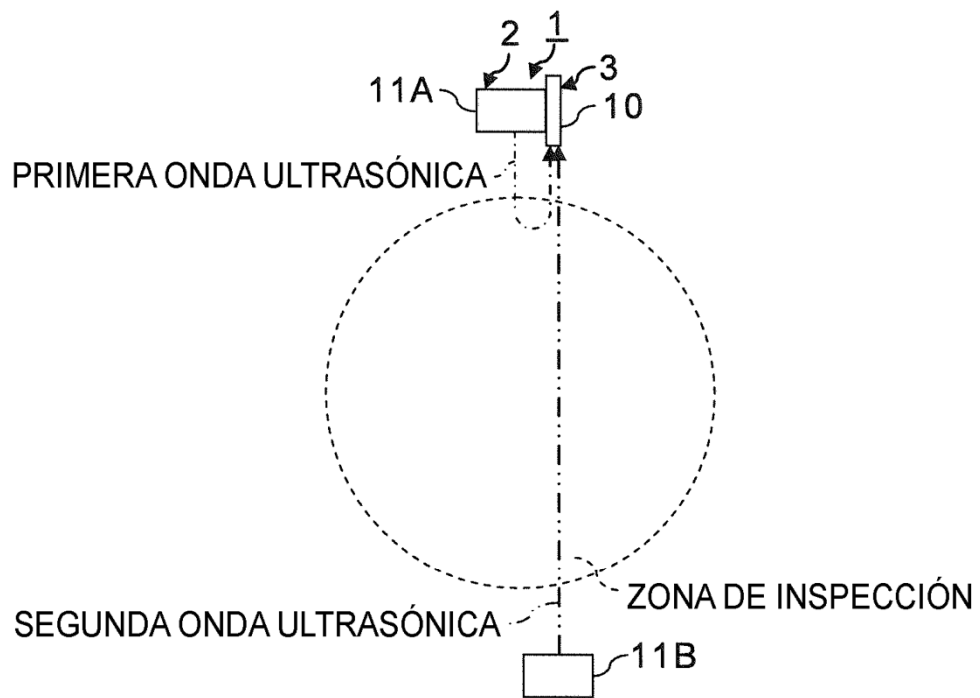


FIG. 3

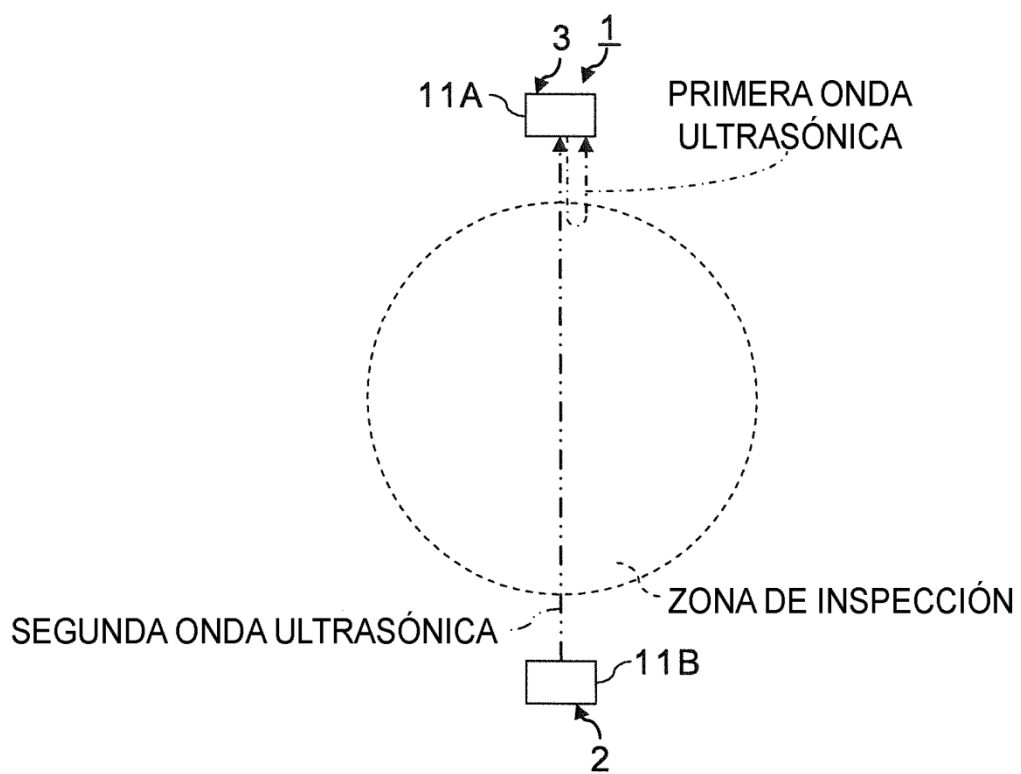


FIG. 4

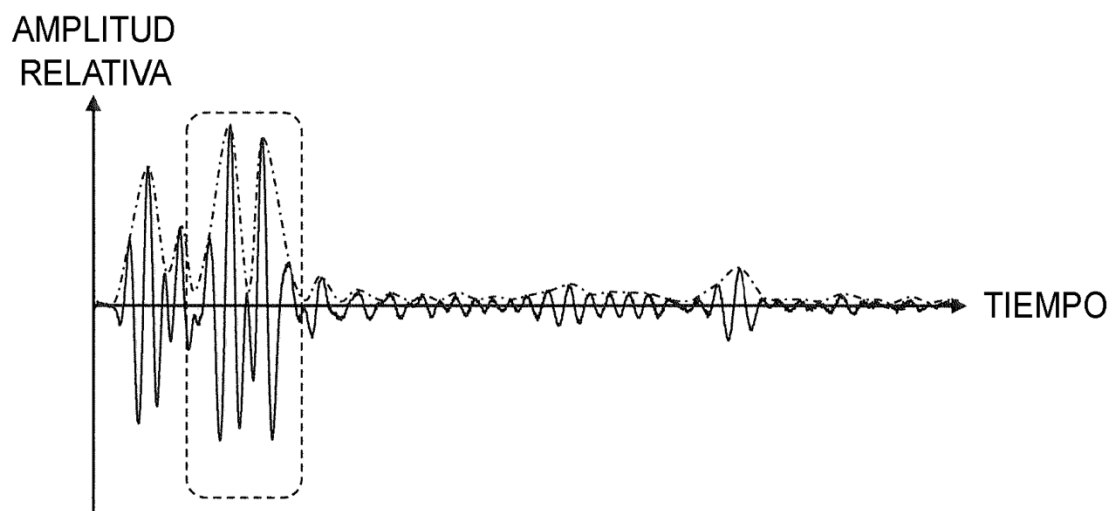


FIG. 5A

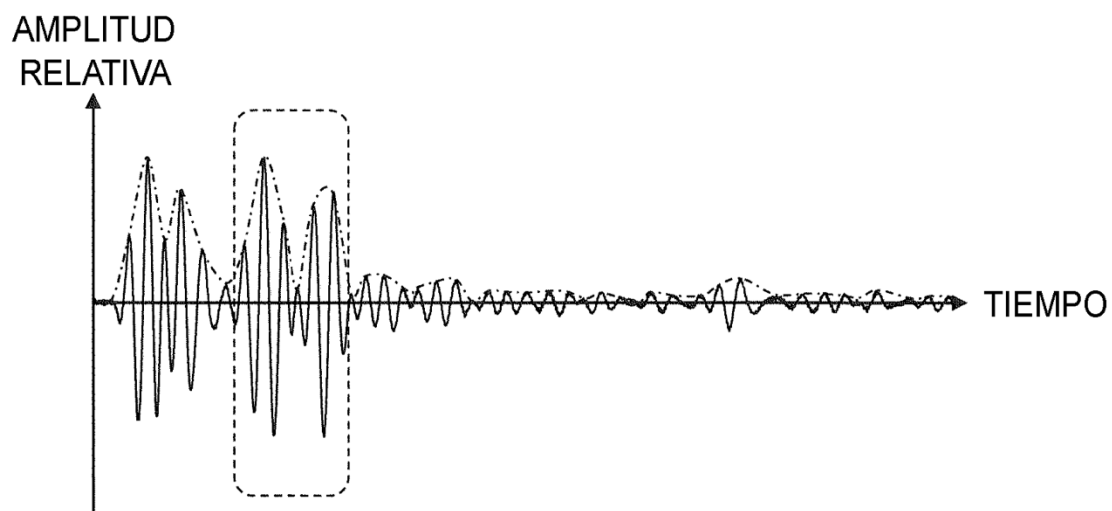


FIG. 5B

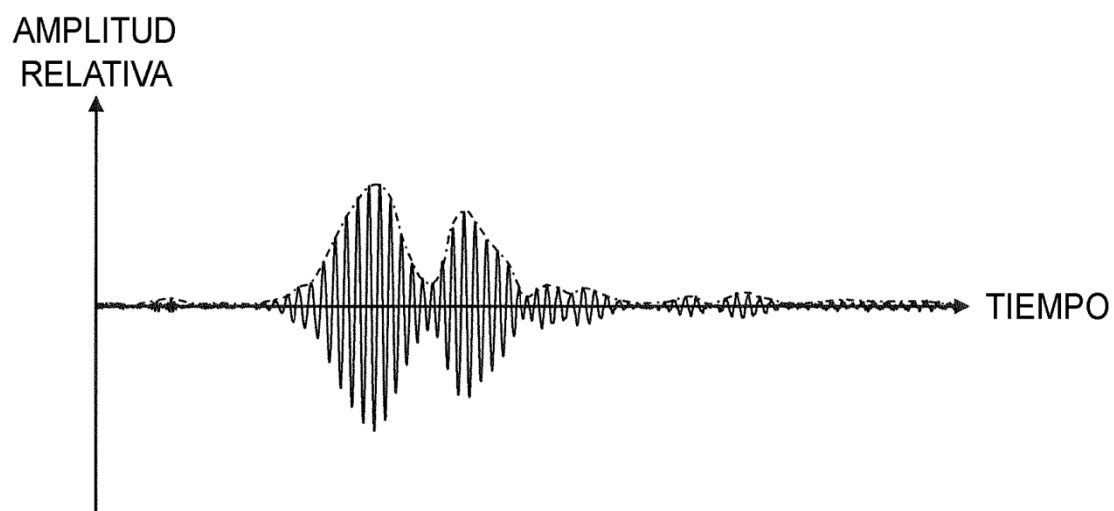


FIG. 6A

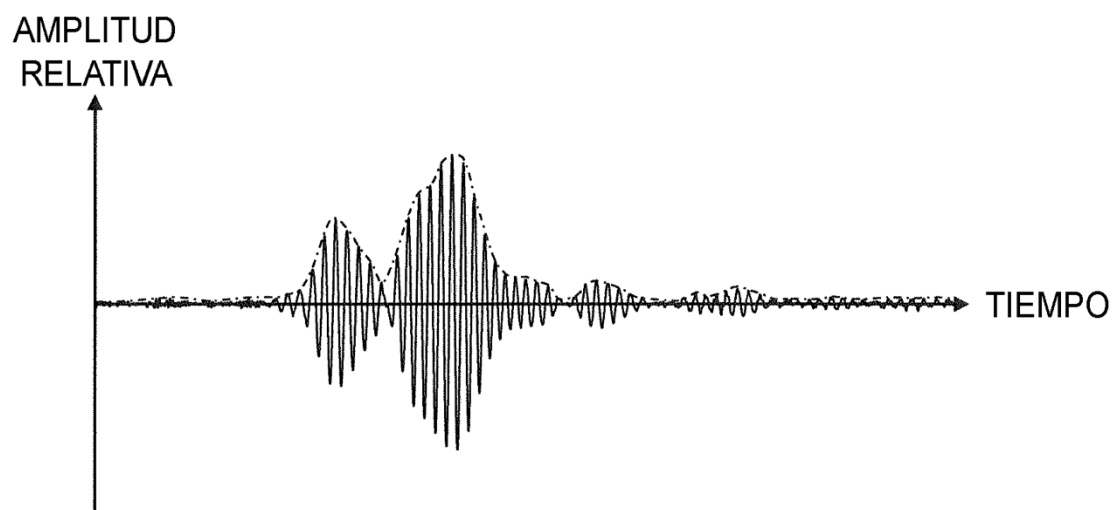


FIG. 6B

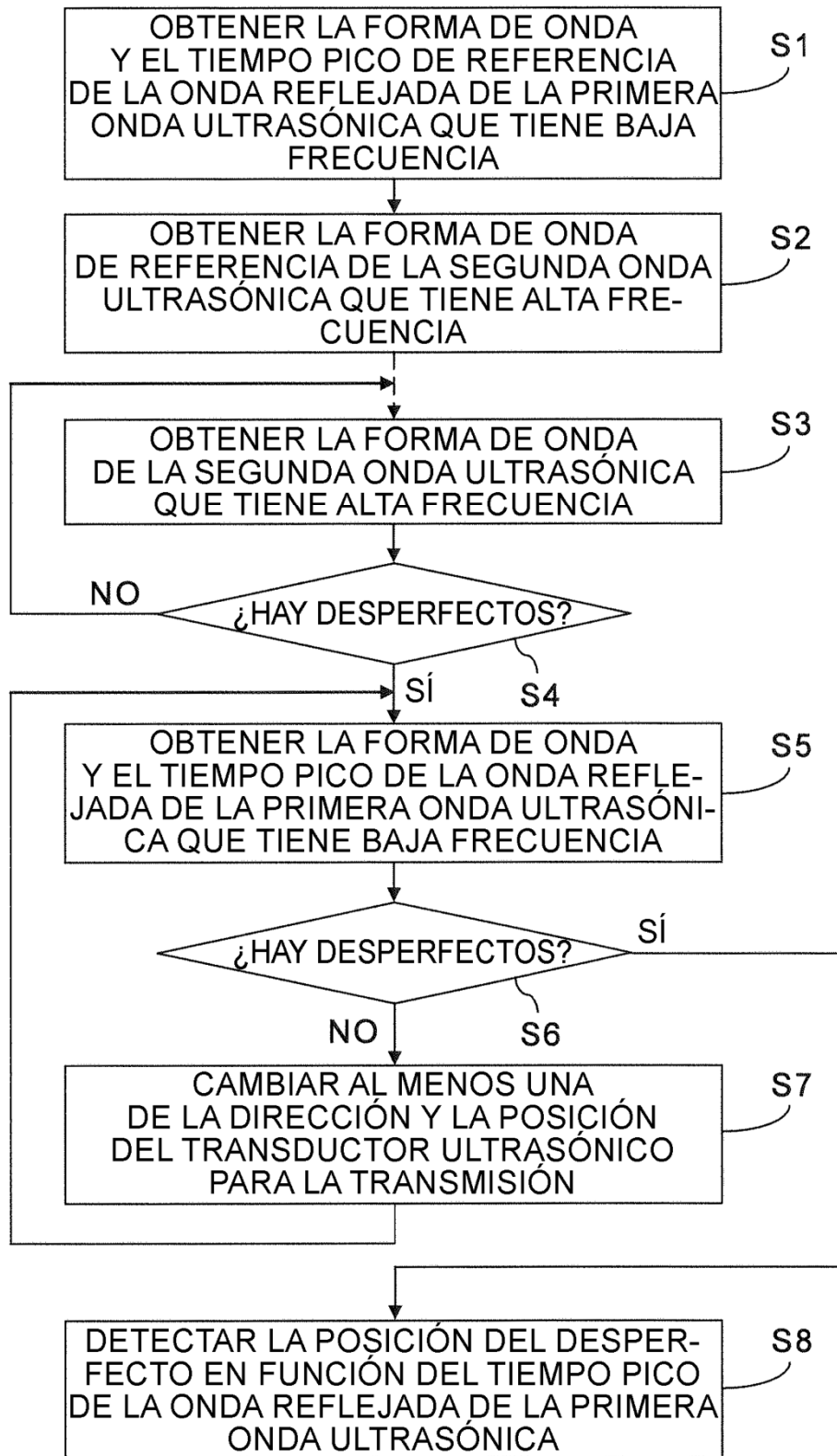


FIG. 7

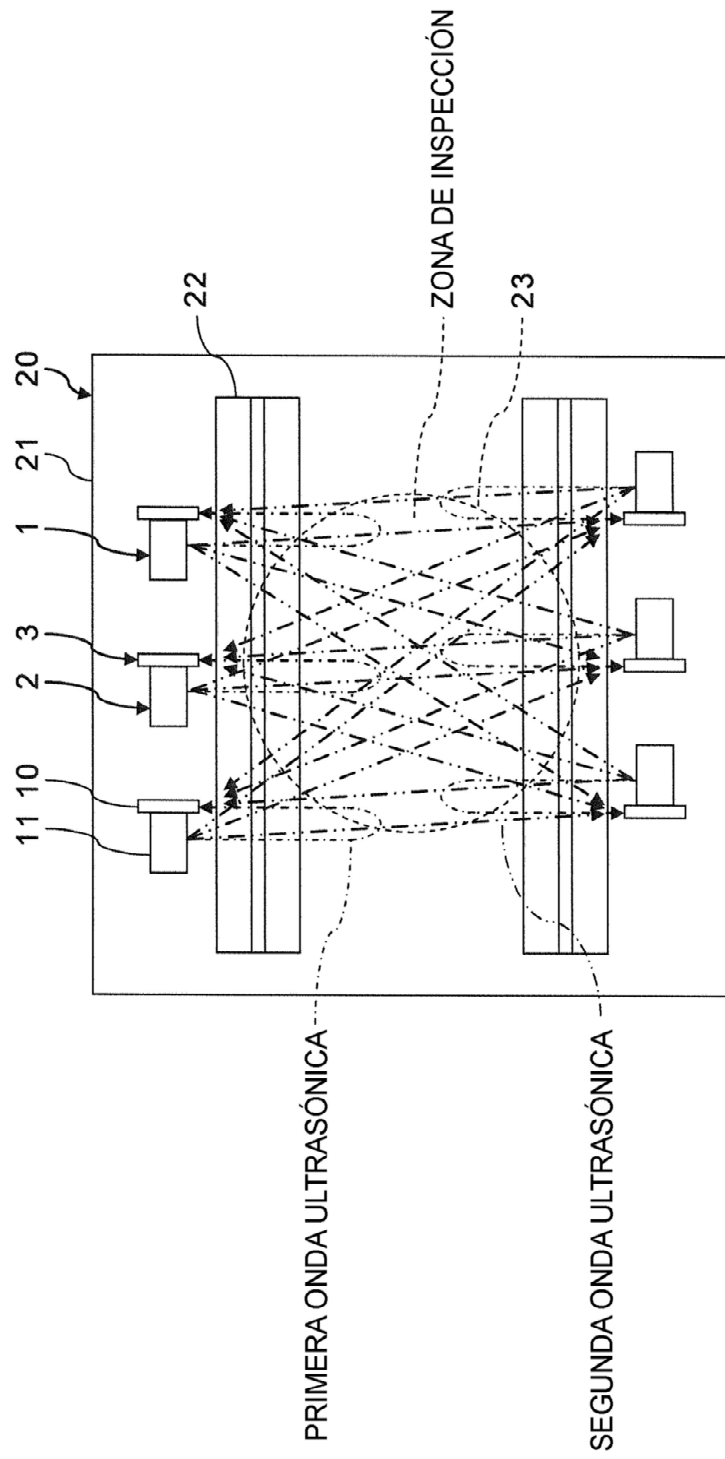


FIG. 8

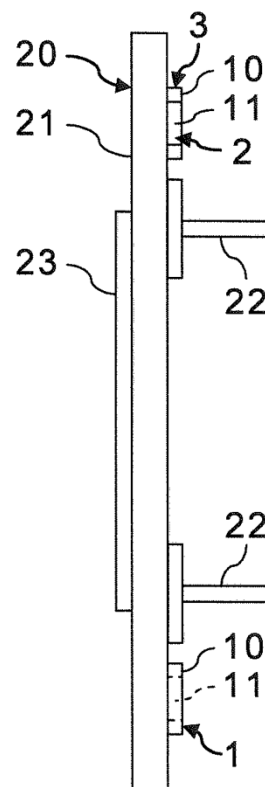


FIG. 9